第3章

コネクタ＆FPC トラブル・シューティング 11連発！

田中雅史，川田章弘，三田博久，
すすたわり，森山光夫，小梨敏実，
太田光昭，千葉淳史，吉田浩二

ここでは，コネクタやフレキシブル・プリント基板（FPC）などにかかわる11項目のトラブル対策事例を紹介する．ボード設計や機器の試作に際して，コネクタやケーブルが原因で起こる不ぐあいは珍しくない．電気的な不ぐあいの原因を解析することに慣れているエンジニアであっても，基板などの実装技術やコネクタなどの機械的な部品の特性には明るくない場合が多い．そのため，こうしたトラブルの原因の解析には手間が掛かることが多いようだ．本稿で紹介するのは，いずれも実際にビデオ機器や計測器などの製品を開発・設計する立場の技術者が体験した貴重な事例である．（編集部）

本稿で紹介するトラブルを下掲の**表**にまとめました．内訳は，コネクタにかかわる事例が1件，同軸ケーブルにかかわる事例が2件，FFC（flexible flat cable）に関する事例が1件，FPC（flexible printed circuit）に関する事例が7件です．それぞれのトラブルについて，その深刻度を「冷や汗度」として5段階（1～5）で示しました．また，トラブルの内容は，症状，原因究明の過程，対策に分けて説明しました．

トラブル対策の事例から読み取っていただきたいのは，対策結果だけではありません．むしろたいせつなのは，「どのような発想や手順でトラブルを見つけたのか」という過程だと思います．また，「あせって何も考えられなくなったとき，ほかの技術者はどうしたのか」という事例を知っておくことは，いざ自分がその立場になったときの助けになることでしょう．

3

表　本稿で紹介するトラブル対策事例

	トラブルの内容	分　類	冷や汗度	ページ
1	コネクタのピンが次から次へと折れる	コネクタ	1	p.104
2	同軸ケーブルを通したパルスの立ち上がり波形がなまる	同軸ケーブル	1	p.105
3	ディジタル・ビデオ・データの伝送でエラー発生	同軸ケーブル	1	p.106
4	CFカードにデータを書き込めない	FFC	5	p.107
5	FPCを筐体に組み込むと動作が不安定に	FPC	1	p.108
6	部品の実装面を表裏逆に設計した	FPC	2	p.109
7	FPC上のチップ部品が破損する	FPC	2	p.110
8	無理に曲げたわけでもないのにFPCが断線	FPC	3	p.111
9	めっきリード用の配線を切っただけなのに動作が不安定に	FPC	4	p.112
10	FPCとコネクタ端子が短絡している	FPC	5	p.113
11	ランドが設計値と違う	FPC	1	p.114

KeyWord　SMPコネクタ，TINA-TI，SUCOFLEX_104，HDテレビ，アイ・パターン，等価線長計，アートワーク設計，カバーレイ，めっきリード断線穴，ステンシル，いもはんだ，はんだボール

1 コネクタのピンが次から次へと折れる

分類　コネクタ

冷や汗度　1

症状

最近の基板を見ると，部品の微細化が進み，機器の小型化への要求が厳しくなってきているのがわかります．筆者が担当していたモジュールも，スペースにゆとりがないうえに要求性能が厳しく，GHzオーダの周波数帯域を扱う必要があったため，信号の入出力を行うコネクタの選定は慎重に行いました．いくつか候補がありましたが，検討の結果，SMP（sub miniature push on）と呼ばれるコネクタを使いました．このコネクタは数十GHzまでの高周波を伝送でき，サイズも基板側のパッド寸法で5mm四方程度です．さらに，SMAコネクタのように外周をネジで締め付ける必要のないプッシュONタイプなので扱いやすい，といった特徴があります（写真1-1）．

コネクタの選定や評価が終わって，ボードがある程度完成すると，それをシステムに組み込み，ソフトウェアのデバッグなどが始まりました．しばらくすると，「信号を入出力できない」という報告が入りました．

● 原因究明の過程

原因がコネクタの破損であることはすぐにわかりました．オス側（基板側）のSMPコネクタのピンが折れてなくなっているのを確認しました（**写真1-2**）．ピンが折れたということは，何か機械的なストレスがかかったと考えられるので，すぐにメス側（ケーブル側）のコネクタを目視で確認しましたがとくに損傷しているようすはありません．コネクタの間に異物が挟まっているようにも見えません．結局，原因がよくわからないままで，しばらくようすを見てみることにしました．しかし，やはりしばらくすると基板側のコネクタのピンがいつの間にか折れています．気がつくと4，5カ所でコネクタが破損しており，早急に対策する必要性が出てきました．

同じトラブルが何度も発生するということは，何か根本的な原因があるはずです．コネクタの嵌合（かんごう）に問題がある欠陥商品ではないかなどと，あらぬ疑いまで持ち始めてメーカに問い合わせてみようかと思いましたが，はたと思い立ちコネクタを顕微鏡で見たところ，謎が氷解しました．

目視では正常に見えていたメス側のコネクタのセンタが，微妙にずれていたのです（**写真1-3**）．コネクタそのものが小さいため，オス側のピンの機械的な強度は決して強くありません．センタがずれたメス側のコネクタをあちこちで使いまわしてしまったため，オス側のコネクタを徐々に傷めてピンが折れるという状況でした．センタずれを起こしていたコネクタおよびそのコネクタと一度でも嵌合させたものをすべて新品に交換したところ，破損事故は発生しなくなりました．

● 対策

再発を防ぐために，1度でも破損事故を起こしたものはオス，メスともに2度と使用しないことです．

教訓　**微小な部品のトラブルでは，目視に加えて顕微鏡でも観察する**

たなか・まさし

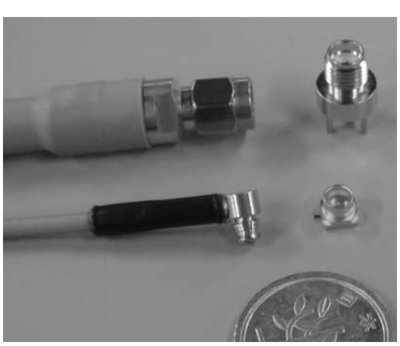


写真1-1　SMAコネクタ（上）とSMPコネクタ（下）

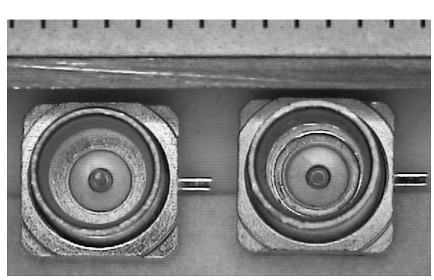


写真1-2　ピンが折れたコネクタ（右）と正常なコネクタ（左）

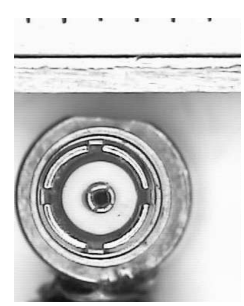


写真1-3　センタがずれたコネクタ（中心から右側に寄っている）

2 同軸ケーブルを通したパルスの立ち上がり波形がなまる

分類 同軸ケーブル　冷や汗度 1

症状

ある波形の立ち上がり時間を測定する場合，その波形の立ち上がり時間よりも10倍程度早い立ち上がり時間を持つ測定器を使えば，ほぼ正確に観測できるはずです．ところが，実際の波形の立ち上がり時間が期待される値になりません．

● 原因究明の過程

オシロスコープで観測した波形の立ち上がり時間T_{r_obs}は，被測定回路の立ち上がり時間$T_{r_circuit}$，入力パルスT_{r_in}，プローブT_{r_probe}，オシロスコープT_{r_osc}それぞれの立ち上がり時間の2乗平均となり，式(1)で計算できます[注1]．

$$T_{r_obs}=\sqrt{T_{r_circuit}{}^2+T_{r_in}{}^2+T_{r_probe}{}^2+T_{r_osc}{}^2} \quad \cdots\cdots(1)$$

ここで，使用するサンプリング・オシロスコープは十分に高速で，かつプローブは使用していません．つまり，被測定回路の立ち上がり時間は，次式により求めることができます．

$$T_{r_circuit}=\sqrt{T_{r_obs}{}^2-T_{r_in}{}^2} \quad \cdots\cdots(2)$$

この式から，被測定回路の立ち上がり時間を得るには，入力パルスの立ち上がり時間を知ればよいと考えました．

パルス発生器の出力パルスを観測したところ，$T_{r_in}=$ 200ps～300psでした．そのとき，近くにいた先輩エンジニアがオシロスコープの管面をのぞき込んで，「このパルス・ジェネレータって，100ps以下の立ち上がり時間なんだけどな？」と言いました．

思い当たるのは，観測に使用したケーブルです．パルス信号の周波数が100MHz程度だからという理由で，適当な1.5D-2Vのケーブルを使っていたのです．

● 対策

ケーブルをスイスHUBER＋SUHNER社のSUCOFLEX_104というマイクロ波用のものに変更したところ，100ps程度の立ち上がりが観測されました．

100MHz，振幅800mV$_{p\text{-}p}$のパルス波形の立ち上がり時間を変えて，含まれる高調波成分がどのように変化するかを米国Texas Instruments社から無償提供されているソフトウェアTINA-TIを使ってシミュレーションしてみました．その結果を**表2-1**に示します．立ち上がり時間が大きくなるほど，高調波が減衰していることがわかります．

次に，JIS型同軸ケーブルとSUCOFLEX_104の減衰量のグラフから，300MHzと500MHzの減衰量を抜き出したものを**表2-2**に示します．この表からわかるように，300MHzで－0.4dB強の減衰量となる1.5D-2Vでは，パルス波形は200ps程度になまってしまうことがわかります．

教訓　ケーブルやコネクタは伝送信号に合ったものを使う

かわた・あきひろ
日本テキサス・インスツルメンツ(株)

参考文献

(1) 古河電工；高周波同軸ケーブル JIS型同軸ケーブル，電設資材ガイド2004～2005，pp.229～230（http://www.furukawa.co.jp/tukuru/pdf/densetu/densetu_06_2.pdf）．
(2) HUBER＋SUHNER，SUCOFLEX_104データシート Rev.E，http://www.hubersuhner.com/products/hs-p-rf.htm
（上記からSUCOFLEX_104でプロダクト・サーチする）．

表2-1　100MHzのパルス波形の立ち上がり時間と高周波レベル

T_r/T_f	レベル［mV$_{RMS}$］			減衰量［dB］	
［ps］	基本波	3次	5次	300MHz	500MHz
50	360.07	119.86	71.73	0（基準）	0（基準）
100	359.89	119.33	70.85	－0.04	－0.11
160	359.52	118.16	69.01	－0.12	－0.34
200	357.88	113.4	61.29	－0.48	－1.37
330	357.29	111.7	58.65	－0.61	－1.75
400	354.79	104.75	48.78	－1.17	－3.35
500	353.06	100.12	42.65	－1.56	－4.52
600	350.48	93.12	33.22	－2.19	－6.69
700	347.61	85.83	24.66	－2.90	－9.27

表2-2　ケーブル長1mにおける減衰量

周波数	減衰量［dB］	
［MHz］	1.5D-2V	SUCOFLEX_104
100	－0.25	－0.07
300	－0.44	－0.13
500	－0.55	－0.17

注1：最近のディジタル・オシロスコープでは，ブリック・ウォール・ライクなディジタル・フィルタを使用しているものが多いため，この式が成り立たないこともある．しかし，立ち上がり時間の概略値を計算する目的には十分に使える．

3 ディジタル・ビデオ・データの伝送でエラー発生

分類：同軸ケーブル　冷や汗度 1

症状

放送局などに設置する業務用のディジタル・ビデオ機器では，各機器間でやり取りする映像データをSDI（Serial Digital Interface）という高速インターフェースで伝送しています．伝送レートは，SD（standard definition）テレビ（4:2:2コンポーネント）の場合が270Mbps，HD（high definition）テレビでは1.485 Gbpsになります．映像データ以外にも，アンシラリと呼ばれる映像データの隙間領域に，オーディオ・データや局間情報，字幕データなどを重畳して伝送しています．同軸ケーブル1本でシリアル・ディジタル伝送できるので，アナログ伝送で使っていた放送局内の既設ケーブルをそのまま利用しています．

既存設備を利用したシリアル・ディジタル伝送設備や撮影現場などの同軸ケーブル敷設工事において，伝送確認のためにデータの送受信を行ってみると，受信データにエラーが発生したり，まったく受信できなかったりというトラブルが起こることがあります．

● 原因究明の過程

このようなトラブルが発生する原因として，いくつかのケースを考えることができます．

最初に同軸ケーブルの長さを考慮する必要があります．放送局の設備や撮影現場の状況によって，伝送同軸ケーブルの長さが数百メートルにもなる場合があります．SDI信号の振幅は規格により，「同軸ケーブル長が1mのとき75Ω終端抵抗両端にて800mV_{p-p}±10%」と規定されていますが，同軸ケーブルが長くなればなるほど損失が大きくなり，信号振幅が減衰していきます．通常，受信側の機器には，同軸ケーブルの損失分を補うケーブル・イコライザと呼ばれる回路が装備されていますが，イコライザで補えないほど減衰してしまった場合は，正確なビデオ信号を復元できなくなります．

次に考慮するのはノイズです．アースが弱かったり，伝送路上に重機などの強力なノイズ源があったりすると，SDIにノイズが重畳してしまい，正常に伝送できなくなります．また，受信した信号のジッタが大きい場合は，PLLでもクロック信号を再生できず，ビデオ信号を復元できなくなります．

3番目に考慮するのは，同軸ケーブルそのものの状態です．同軸ケーブルは，保管状態のよしあしや経年変化，無理な折り曲げや踏みつけなどの扱いかたによって特性が劣化します．劣化が起きていると，短いケーブルで接続しているのに，あたかも数十mのケーブルで接続しているような信号品質となり，せっかく重たいケーブルを撮影現場へ運んだにもかかわらず使用できないというケースもあります．



写真3-1 ハンディ・タイプの等価線長計（リーダー電子）

● 対策

このような場合，アイ・パターンと呼ばれるSDI信号の波形観測が有効です．SDI信号はディジタル信号なので，基本的には‘1’または‘0’の値を持つ方形波になりますが，伝送路で信号の減衰や劣化が発生すると，波形がつぶれたり，立ち上がり/立ち下がり部分に傾斜がついたりします．

アイ・パターンの観測において，ケーブル長が短いにもかかわらず長いケーブルを使っているように信号が減衰している場合には，等価線長計を使った確認が有効です．等価線長計（**写真3-1**）は，同軸ケーブルで伝送したSDI信号の信号強度を，規定の同軸ケーブルの長さに換算して表示してくれます．同軸ケーブルの疲弊ぐあいや伝送マージンを簡単に知ることができます．

教訓　信号を引き回す際には，ケーブルの疲弊ぐあいや伝送マージンを把握しておく

みた・ひろひさ

4 CFカードにデータを書き込めない

分類 FFC

冷や汗度 5

症状

FFCは電子機器の内部配線用ケーブルで，基板と基板，あるいは基板と部品を接続します．ある製品の開発において，CF（CompactFlash）カードを使うことになりました．回路設計，機構設計，基板設計，組み立てと順調に進み，いよいよCFカードのデバッグを行ったのですが，CPUがCFカードを認識してくれません．別のメーカのCFカードを使うと，認識はするのですが読み書きがうまくいきません．データが化けてしまうのです．早速，家電店に走り，さまざまなメーカのCFカードを買い込み，試してみました．似たような症状が起きるものもあれば，正常に動作するものもありました．

実は筆者はこの数年前に，PCMCIAカードで似たようなトラブルを経験していました．このときは，プリント基板の配線パターンが原因で，パターン間の信号飛び込みが発生していました．今回も同じことが起きているのかと思い，基板の配線パターンをチェックしたのですが，問題を起こすような部分は見当たりません．

● 原因究明の過程

CFカードはフロント・パネルで抜き差しする必要があるため前面側に配置し，データのやり取りを行うCPU基板は，背面側に配置していました．フロント・パネルにCFカード用の小型基板を取り付けて，30cmほどの長さのFFCでCPUブロックと接続しました．**図4-1(a)**にそのようすを示します．あれこれと試行錯誤しているうちに，このFFCを手で触ったり動かしたりすると，症状が変化することがわかりました．どうやら，FFCの下にある基板からノイズが飛び込んでいるようです．試しにノイズ源の基板とFFCの間にシールド板を入れてみると，明らかに症状が軽くなります．これで今回のトラブルの原因は，FFCの下にある基板からのノイズの飛び込みであると判明しました．

● 対策

ノイズ源の基板からFFCを離せないか，両者間にシールド板を配置できないかなどを機構設計者と検討したのですが，薄型の製品だったため，対応は困難でした．さらにFFCにアルミホイルを巻いてシールドしてみたのですが，グラウンドに落とす位置によっては，アンテナとして機能してしまい，かえって症状が悪化しました．ケーブル・メーカではシールド付きFFCも用意しているのですが，納期や最低注文数量の関係で採用できませんでした．

その後もノイズ源を減らすなど，いろいろな実験を行いましたが，決め手がないまま時間が過ぎてしまい，とうとうサンプル機を出荷しなければならない期日が迫ってきました．焦りとプレッシャから良いアイデアも浮かばず，もうこれ以上実験を行う時間もなくなってしまいました．結局，期日前夜の徹夜の作業で行った対策は，CPU基板とノイズ源の基板の位置を入れ換えて，CFカード基板とCPU基板を最短距離で接続するという原始的なものでした（**図4-1(b)**）．その効果は絶大で，どのメーカのCFカードでも正常に動作するようになり，無事にサンプル機を出荷することができました．

教訓　基板間の配線は短くするのが基本

みた・ひろひさ

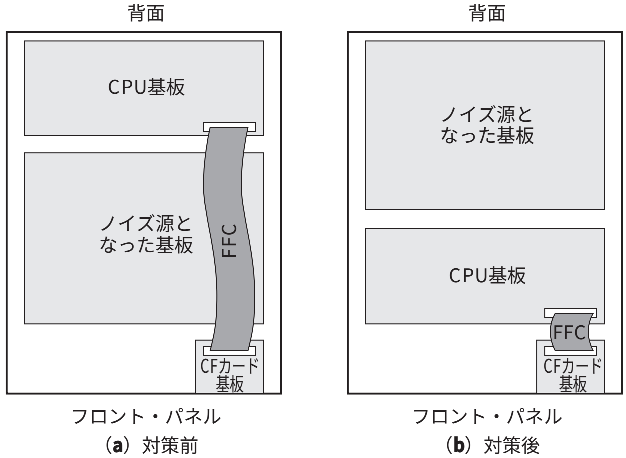


図4-1　設計していた製品の基板位置とFFCの関係
対策後は，CPU基板とノイズ源の基板の位置を入れ換えてCFカード基板とCPU基板の間を最短距離で接続した

5 FPCを筐体に組み込むと動作が不安定に

分　類
FPC

冷や汗度　1

症　状

FPCを使った模型ヘリコプタ（写真5-1）を作成しました．基板だけで動作チェックを行ったときは正常に動作していたのに，いざ筐体に組み込むと，まともに動いてくれません．

● 原因究明の過程

基板単体の動作確認の際には，安定化電源から電源を供給していました．筐体に組み込んだ後はバッテリ駆動となるので，初めは電源容量不足などを疑いました．ところが，基板単体でバッテリを使って駆動してみたところ，問題なく動作します．原因はほかにあるようです．

筐体に組み込む前後で電源以外に差異があるのは，FPCの状態です．組み込む前は基板が平面状に伸びきった状態（**写真5-2**）ですが，組み込んだ後は中央位置で半分に折り畳まれます（曲げ角は180°）．また，CCD（charge coupled device）カメラ部分も約90°屈曲しています．

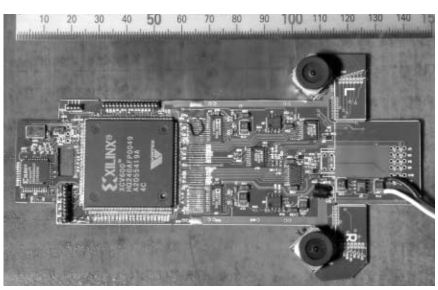


写真5-2 筐体へ組み込む前の基板の外観



写真5-1　FPCをメイン基板に使った模型ヘリコプタ

資料提供はブレインビジョン（独立行政法人 理化学研究所の公式認定ベンチャ）

この時点ではモータを駆動せずに，カメラから得られる映像や，その後段の画像処理などが正常に行われているかどうかを確認しました．次にモータを駆動し，カメラからの映像を元にフィードバック制御を行いました．初めはときどき正常なフィードバックがかからないという状態だったのですが，分解や組み立て，動作テストを何度か行っているうちに，つねに正常動作しなくなりました．

中央の折り曲げ部分にある配線の一つが断線していたことが不ぐあいの原因でした．とくに両面構成のFPCでは屈曲への耐久性が弱くなるため，注意が必要です．

● 対策

折り曲げ角度のきつい部分の配線パターンを太くし，同時に片面構成とすることで上記の問題に対処しました．**図5-1（a）**に示すように，FPCで両面構成とした場合，外側の導体層にある配線は内側へ力が逃げにくくなるため，引っ張られて破断しやすく，また，内側の配線は圧縮されて疲労しやすくなります．これは両面に硬い導体層があることが原因なので，**図5-1（b）**のように片面構成とすることで対処できます．どうしても両面構成が必要な場合には，互いに反対の面に配線が配置されないようにパターンを構成するなど，力の逃げ道を作るくふうが必要です．

教訓　折り曲げ角度がきつい箇所や屈曲頻度の高い箇所は片面構成に

すすたわり
http://www.susutawari.org/

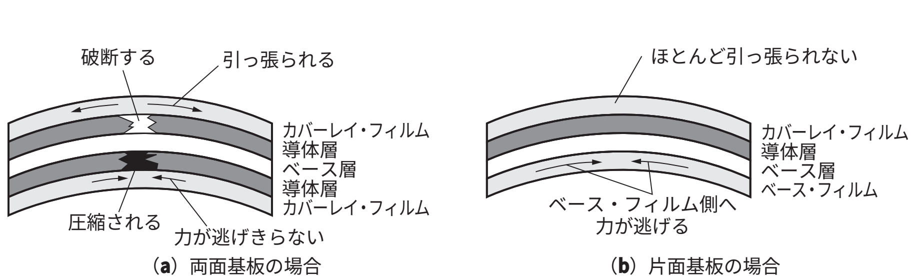


図5-1　両面基板の配線パターンが切れやすい理由

両面に配線する必要があるときは，反対面にパターンを引かない

6 部品の実装面を表裏逆に設計した

分 類：FPC

冷や汗度 2

症 状

あるカメラのFPCを設計するとき，ペアを組んでいる機械設計の担当者からいつもどおり外形データを取得し（図6-1（a）），とくに何も指示がなかったので淡々と部品実装を行い（図6-1（b）），順調にアートワーク設計（図6-1（c））まで終了しました．手慣れた作業をなじみの担当者と行っていたため，ふりかえると確認行為も「なあなあ」でした．

その結果，アートワークの最終チェックで部品実装が表裏逆であったことが発覚し，あわてて設計をやり直し，なんとか事なきをえました．気づかないままFPC作成まで進んでしまっていたら，日程の遅延は必至です．冷や汗をかきました．

● 原因究明の過程

データを取得したときに実装面の指示がないことには気づいていました．しかし，何も指示がないのはいつものとおり，取得した状態の表側の面が実装面であると思い込み，担当者に確認もせず設計を始めたのがそもそもの原因でした．

あらためて調べてみると，ほかの担当者どうしにも同じような確認作業の「手抜き」があり，今回のようなミスは起きて当然と言わざるをえない状況でした．

機械系CADデータの取得が可能になった初期のころは，データを取得した時点で機械設計の担当者に必要事項を確認していましたが，長らく同種の業務をこなすうちにデータの確認作業がおざなりになっていました．データ送受信後の電話で「いつものとおりの設計でいいですね」で済ませるようになり，中には確認行為すら行っていないケースもありました．

ひと昔前，データ交換がすんなりと行えなかったころは，与えられた外形図面を見ながらアートワーク設計用のCADツールで外形を描いていました．そのため，必然的に細かい確認を行うことになり，こういった問題は発生するはずもありませんでした．

● 対策

幸いにも気づいたのが基板を製作する前だったこと，回路規模が比較的小さかったことから，日程に支障は出ませんでした．設計業務にある程度慣れてくると，確認作業をつい省略したくなってしまいます．もう一度初心に返って，石橋を叩いて渡るくらいの確認を行うことが肝要です．

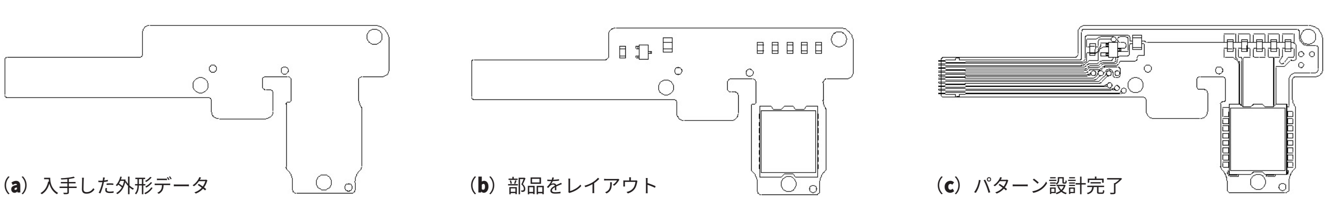
今回は設計着手時点の根本的なチェック漏れの問題でしたが，設計途中の外形変更や回路変更，チップ変更においても，ミス防止のための綿密な連絡を怠ってはなりません．

CADツールの大幅な技術革新により，設計や検証，データのやりとりの作業が簡便かつ迅速になるのはすばらしいことです．しかし，この便利さに流されず，抜けや落ちがないかどうかチェックする必要があります．

教訓　「いつもどおりね」，「はいよ」に危険が潜む

もりやま・みつお
（株）仙台ニコン 映像事業部

3



（a）入手した外形データ　（b）部品をレイアウト　（c）パターン設計完了

図6-1　設計したとあるカメラのFPC

手慣れた作業を，なじみの機械設計の担当者と行っており，確認行為も「なあなあ」だった

7 FPC上のチップ部品が破損する

分 類：FPC

冷や汗度 2

症 状

あるとき，組み立て工程から「FPC上のチップ部品が破損している」という報告を受けました．それはコネクタの周辺に実装されているもので，同じような箇所が破損しているものが数枚ありました．

組み立て工程において「不用意に取り扱ったのではないか」と想像していたのですが，調査してみると，設計上の問題に起因していたことがわかりました．

● 原因究明の過程

今回問題が発生したのは，新製品開発の試作段階です．試作ではさまざまな問題が発生しますが，今回はある特定の場所でチップ部品が取れかかっているというものでした．そこは，FPC用のコネクタの周辺で，コネクタ開閉の作業はピンセットで行っていました．ピンセットで作業を行っている際に破損させた可能性はすぐに推測できたものの，「通常の組み込み作業では発生しないはず」という思い込みがあったため，その過程がよく理解できませんでした（**図7-1（a）**）．しかし，状況を確認していくと，結局は基板のレイアウト設計時の検討不足がその一因になっていたことがわかりました．

破損に至る経緯は以下のとおりでした．

1) コネクタのスライダを開ける
2) コネクタにFPCを挿入
3) スライダを閉じる
4) 機能などに問題があり，再度スライダを開ける（FPCが挿入されているため，外す際に**1)**よりも力が必要）
5) ピンセットが外れる（力の加減が難しい）
6) 周辺のチップ部品が破損

今回のコネクタは，挿入するFPCのつごうで推奨コネクタが限定されていたため，低背でスライダ式のものを選定していました．FPC挿入部付近には作業性を考慮して，少なくともFPC幅程度の領域には部品を配置しないように注意しており，実装部品もレイアウトの許す限りコネクタ周辺から離して配置したつもりでした．組み込むだけの作業では問題にならなかったのですが，今回は「リペアで頻繁に外す」というところに落とし穴があったのです．

● 対策

基板を改版し，部品を遠ざけることで今回の問題は解消されました（**図7-1（b）**）．どの程度コネクタから遠ざけるかなどは，FPCの形状や作業方法，基板レイアウトなどで異なります．

この問題を通して，リペア時に取り外しの可能性が比較的高いポイントにおいては，取り外しの作業も考慮したレイアウトを検討するべきだと痛感しました．

試作段階で発覚したことが幸いでした．というのも，量産工程では作業者のスキルによって破損の出る確率がばらつくため，試作の作業者（慣れた作業者）の場合は顕在化しない問題が，慣れていない作業者のもとで顕在化する可能性があるからです．

教訓　設計前に組み立て現場の作業を十分に理解しておく

こなし・としみ
（株）仙台ニコン 映像事業部

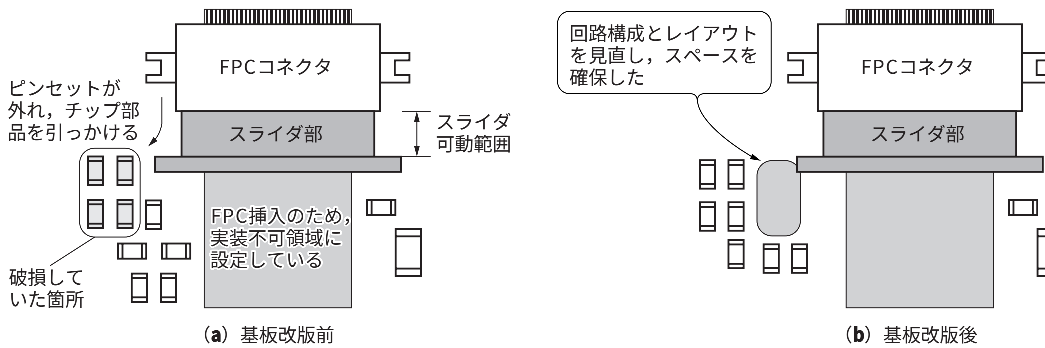


図7-1 FPCコネクタ周りの部品レイアウト
実装部品は，レイアウトの許すかぎりコネクタ周辺から離して配置していたつもりだった

8 無理に曲げたわけでもないのにFPCが断線

分 類：FPC

冷や汗度 3

症　状

あるカメラの試作を終え，量産を開始しました．生産数量が増えたのに，完成品組み立て工程の直行率（不良でラインから外されずに最終工程へ進む製品の割合）が上がりません．その阻害要因の解析を行ったところ，信号が途中でとだえ，正しく出力されていなかったのです．原因はFPC上に実装した部品のはんだ付け部にあるようです．

● 原因究明の過程

事故が発生している製品を解析したところ，部品ランドのカバーレイ（表面保護用フィルム）開口端でパターンが断線していました（**図8-1（a）**）．FPCの折り曲げ位置から部品を実装するためのカバーレイ開口が近く，かつ裏打ち材もないため，組み込み時に開口端に力が集中して，断線していたのです．組み立て工程の作業者もパターンが断線するという意識がなかったため，組み込みの際に部品上を指で押していました．問題が発生するまでを整理します．

1） 開発の初期段階では，FPCを立体的にとらえ，まず外形を決めていく．最近では3次元CADを利用し，機構部品の隙間をぬうように設計する．

2） 機能の中心となる基板との接続方法を検討し，さらに外形を確定する．当然，この段階で1シートからの抜き数（シートの大きさはメーカに依存）や表面処理などといったコスト面，供給面についても検討する．

3） 次にパターン設計を行う．このとき初めてFPCが立体的な検討から平面的な検討に移行することになる．

4） 実際にFPCを製作し，部品を実装する．それを製品に組み込み，作業性も含めた最終検討を行う．

今回のミスは，**1）**，**2）**の立体的な検討から，**3）**の平面的な検討に移行する段階における見落としになります．

● 対策

FPCは屈曲性・柔軟性という長所がある反面，部品を実装するための開口パターンに保護部材がないので，パターンに対してストレスがかかります．さらに，はんだ付け部には，Sn-Ag-Cu（鉛フリーはんだの場合．ほかにSn-Znなどもある）を組成とする材料で部品の電極を固着させるため，銅（パターン）とはんだの接合部において，伸縮率の違いによるクラックが発生しやすくなります．そのため，FPCを支持する機構部品がない場合，部品を上部から押し込むと，開口部にストレスがかかり，断線してしまいます．

対策として次の三つが考えられます．

1） 部品実装部の裏側に補強部材を配し，部品ランドにストレスが集中するのを避ける（**図8-1（b）**）

2） FPCの折り曲げ位置の近辺には部品を配置しない

3） 折り曲げ位置の近辺に部品を実装する場合は，折り曲げ方向に電極を向けず，部品の本体で力を受けるように配置する（**図8-1（c）**，**写真8-1**）

教訓　**ストレスの原因はいたるところにある**

おおた・みつあき
（株）仙台ニコン 映像事業部

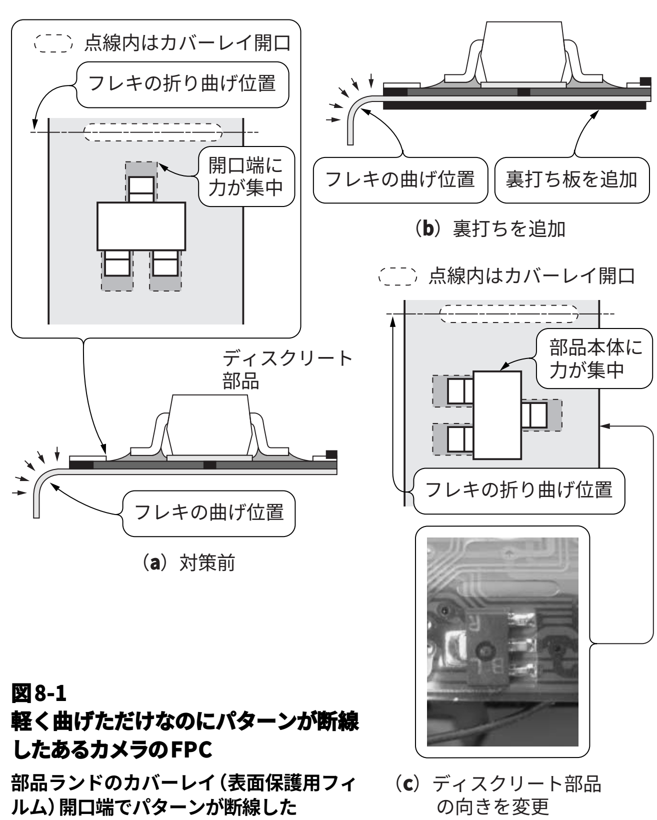


図8-1
軽く曲げただけなのにパターンが断線したあるカメラのFPC
部品ランドのカバーレイ（表面保護用フィルム）開口端でパターンが断線した

9 めっきリード用の配線を切っただけなのに動作が不安定に

分類：FPC

冷や汗度　4

症状

FPCのコネクタ挿入部などの導体露出部に施される金めっきは，表面処理を行うために，その工法によってはFPC上にめっきリードが必要です．

めっきリードは，FPCの配線のつごうなどにより，複数の信号線を1本にまとめて接続します．そして，めっき作業後，複数の信号線を独立させるために断線穴を開け，切断するケースがあります．そのFPCを製品に組み込み，電源を投入しましたが，ある機能が動作しないことが発覚．しかも，動作する製品もあれば，動作しない製品もあったのです．

● 原因究明の過程

調査の結果，めっきリード断線穴の配置に原因がありました．このFPCは両面FPCであり，グラウンド強化のため，めっきリードの裏面は全面的なグラウンドべたパターンになっていました．つまり，FPC製造工程においてめっきリード断線穴を機械的な穴あけ加工で行ったため，その加工の際の「ばり」や「かえり」が，裏面のグラウンドべたパターンと短絡してしまったのです．**図9-1（a）**に問題が発生したときのFPCの状態を示します．問題が発生していなかったFPCは，偶然にもめっきリードのばりやかえりが，グラウンドべたパターンに接触していないものでした．

このケースはFPCの裏面がグラウンドべたパターンであったために短絡に至りましたが，グラウンドべたパターンがなくても，金属板などに接触するような場合も，類似の現象に陥ってしまうことがあります．

● 対策

めっきリード断線穴の加工方法を知らないままでいたら，ばりやかえりの発生に思い至ることはなかったと思います．**図9-1（b）**に対策案の一つを紹介します．ばりやかえりが発生しても，裏面グラウンドべたパターンと短絡しないように，グラウンドべたパターンをその部分だけ逃がしてあります．

写真9-1，**写真9-2**はめっきリード断線穴の実例です．**写真9-1**は，メカニカルなスイッチが摺動（しゅうどう）するパターンを形成しているFPCです．金めっき化するためにはめっきリードが必要ですが，めっきが必要なすべての箇所から，めっきリードをFPCの外側まで引き出すことができないため，断線穴を配置しています．この例では，FPC裏面はグラウンドべたパターンとはなっていないため，かりにばりやかえりが発生しても短絡に至るような問題は発生しません．しかし，FPCの紙面上の表面から裏面に向かって穴を加工するので，めっきリードの断線部にパターンの断線残りがかえりとなって発生する可能性があります．

写真9-2においては3本のめっきリード断線部が発生するので，かえりも3カ所発生する可能性があります．

教訓　構造を十分理解することが解決の近道

ちば・あつし
（株）仙台ニコン 映像事業部

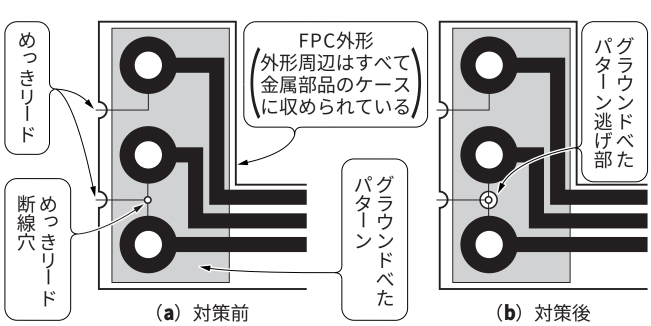


図9-1　FPC上のパターンに設けられためっきリードとその断線穴
穴に「ばり」や「かえり」があると反対面のパターンと短絡する可能性がある



写真9-1　めっきリード断線穴の実例1
めっきリードをFPCの外側まで引き出すことができないため，断線穴を配置している

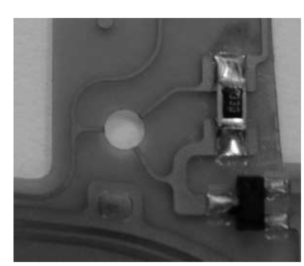


写真9-2　めっきリード断線穴の実例2
3本のめっきリード断線部が発生するため，「かえり」も3カ所発生する可能性がある

10 FPCとコネクタ端子が短絡している

分類：FPC
冷や汗度 5

症状

プリント基板上にあるコネクタのFPC挿入部には，通常，部品を配置しません．しかし，そのプリント基板上のデット・スペースに対して，高さ「H=0（部品配置不可）」という条件を守ることを前提に，テストポイント（基板部組み点検用）を配置することがあります．スペースの有効活用に思えるこの行為が，後に機器本体の動作不良を引き起こしました．

● 原因究明の過程

原因は「FPCのコネクタ端子開口部とプリント基板上のテストポイント（予備はんだあり）の間の短絡」と判明しました．製品の動作に影響していたことがわかったときには，事前の検討が足りなかったことを痛感しました．

図10-1のように，プリント基板上のFPCを挿入するスペースは通常，部品を配置しないというルールで対応していましたが，プリント基板の実装スペースのつごうで，点検に使うテストポイントとして活用していました．そして，そのテストポイントには酸化防止や測定用のプローブの接触を良くするなどの目的から，予備はんだを施していました．低背コネクタが主流になってきている現在では，このスペース活用が事故の原因となるケースがあります．

問題の要因としては，以下の三つが挙げられます．

1) 実装指示の際，テストポイントへのはんだ盛り不可の指示が行われておらず，実際は高さ制限の「H＝0」に収まっていなかった．測定したところ，予備はんだの高さは約0.15mmあった．

2) FPCを組み込んだ際に，FPCのたわみもあり，テストポイントとの空間距離が狭くなっていた．

3) コネクタが低背のタイプだった．

これらの要因が重なったことで動作不良に至っていました．部品の高さは気にしていましたが，予備はんだの高さまでは考慮していなかったところが検討不足でした．

● 対策

テストポイントへのはんだ盛りを廃止しました．ただし，単純に止めてしまうと，プローブの消耗や接触不良が懸念されるため，はんだがなくても接触を確保できるように，プローブの先端形状を最適化しました．

ここで学んだことは，「部品の高さだけが，高さ制限の対象ではない」ということです．はんだの高さは図面には現れない要素であり，見落としていました．また，部品実装部については，「部品の公差」＋「はんだによる部品の浮き」が発生する可能性もあります．部品と部品のクリアランスが0.2mmなどという制約がある箇所は，とくに配慮が必要になるでしょう．

はんだによる部品の浮きですが，はんだを基板に印刷するメタル・スクリーンの厚みによっても異なるので気をつけましょう．最大0.1mm程度の部品浮きが生じます．

教訓：はんだペーストの高さも考慮しよう

こなし・としみ
(株)仙台ニコン 映像事業部

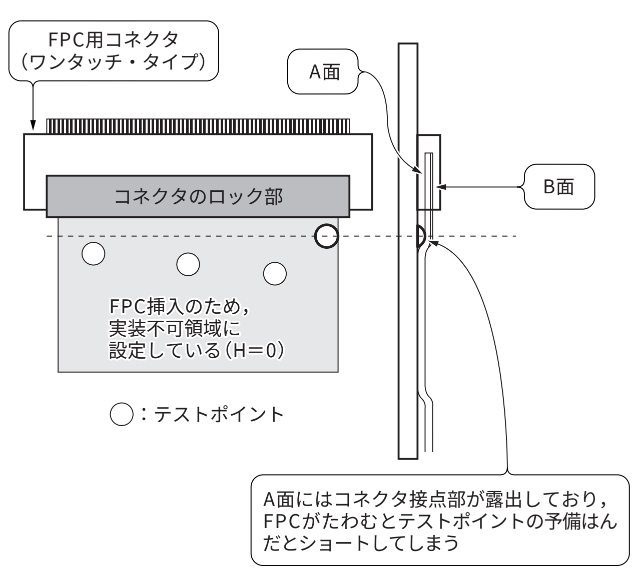


図10-1 FPCを挿入するスペース
通常，部品を配置しないというルールがある．しかし，プリント基板のチェック目的でテストポイントを配置してしまった

11 ランドが設計値と違う

分類: FPC

冷や汗度 1

症状

製造されたFPCが設計した寸法と違うことがありました．事例をいくつか紹介します．

● 事例1 ── 接着剤が流れ出してランドが小さくなる

実際の開口が，設計したカバーフィルムの開口よりも小さいことがあります．金型やドリル加工によるばらつきのほかに，FPC層間の接着剤の流れ出し（**図11-1**）が原因となるケースがあります．

FPCメーカでは，保証寸法として0.3mm～0.4mm程度の流れ出し量を提示してきます．この流れ出し量のコントロールは難しいようで，ロットや製品によるばらつきが多く見られます．

精密なはんだ印刷量の管理が必要な場合は，実装後に行われる外観検査において，接着剤の流れ出しによるランド開口面積の減少を，はんだ過多というかたちで見つけます．また，リード・トップ側の開口面積が減少した場合は，チップ立ちが生じることもあります．

ランド設計のほか，ステンシル（メタル・マスク）設計にも配慮が必要です．さらに，ランドを電気的接触点に使用する場合は，接着剤の流れ出しを十分に避けた寸法で設計することや，相手部材の寸法を検討することが必要です．

● 事例2 ── 四角いランドが丸くなる

CAD画面上では，四角いランドのカバーフィルム開口は，四隅にきれいな角が付いた形状になっていますが，実際のFPCではきれいな角になりません．

一般的にFPCの加工には，金型とドリルを使います．金型による加工では四隅の角に*R*が付くのが普通ですし，ドリルによる加工では使うドリル径に左右され，さらに大きな*R*が付きます．

図11-2は，設計上は長方形に開口されていた2012チップのランドです．このFPCのカバーフィルムはドリル加工です．カバーフィルム開口幅1.0mmに対して，隅に0.4mmの*R*が付いているため，長穴形状になっています．面積を測定すると，設計値の70％程度しか開口していません．設計値としあがり寸法にこのくらい大きな差があると，先のケースと同様，はんだペースト過多による「いもはんだ」や「はんだボール」発生の原因になります．FPC製造工程における改善は難しいため，実装工程側，とくにステンシルの最適化による対策が必要です．

● 事例3 ── ランドの開口が左右でばらつく

FPCのはり合わせ工程で，パターンがプリントされているベース材とカバーフィルムをはり合わせます．カバーフィルム内の開口がランドの開口となります．この工程でベース材とカバーフィルムのはり合わせずれが発生すると，ランド開口のずれにつながります（**図11-3**）．

このランド開口のずれが大きい場合は，先に書いたケースと同じく，実装後の外観問題の原因となります．また，搭載位置ずれや，フィレットが正常に形成されないなどの問題の要因になります．

よしだ・こうじ
（株）仙台ニコン 映像事業部

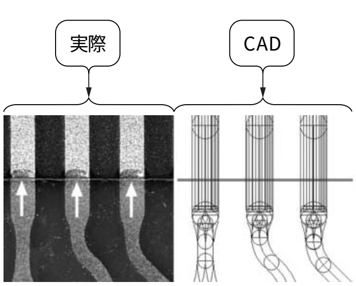


図11-1　IC用のランド
接着剤が流れ出し，開口が小さくなった

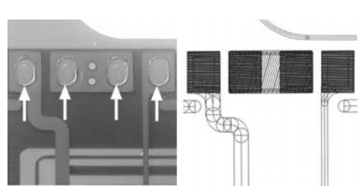


図11-2　2012サイズのチップ抵抗（コンデンサ）のランド
カバーフィルムの加工をドリルで行ったため，角に*R*が付いた

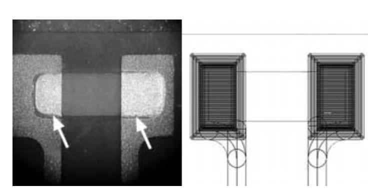


図11-3　チップ抵抗（コンデンサ）のランド
ベース材とカバーフィルムのはり合わせずれにより，左右の開口が不均一になった